BETONARME YAPILARDA MALZEME DAYANIMI VE DETAYLANDIRMA ÖZELLİKLERİNİN SİSMİK HASAR ÜZERİNE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

H. B. Özmen[1] ve M. İnel[2]

[1] *Yrd. Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli*
[2] *Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli*
Email: minel@pau.edu.tr

ÖZET:

Bu çalışmada mevcut yapı stoğu içinde en büyük paya sahip olan betonarme binalarda beton dayanımı ve yanal donatı detaylandırma özelliklerinin sismik davranışa etkisi doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz kullanılarak incelenmiştir. Türkiye'de yer alan betonarme binaları temsil eden toplam 48 adet üç boyutlu bina modeli kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Tasarımda 1975 ve 1998 deprem yönetmelikleri dikkate alınmıştır. Binaların modellemesi ve doğrusal olmayan statik analizleri SAP2000 statik analiz programı ile yapılarak kapasite eğrileri elde edilmiştir. 48 adet binanın iki yönünün dikkate alınmasıyla oluşan 96 adet model tek serbestlik dereceli sistemlere dönüştürülmüştür. 264 farklı ivme kaydı kullanılarak yapıların doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz uygulanması ile sismik deplasman talepleri elde edilmiştir. Hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi performans seviyeleri kapasite değerleri ile ortalama 0.2g, 0.4g ve 0.6g maksimum yer ivmesi değerine sahip deprem setleri talep değerleri karşılaştırılmıştır. Her bir performans seviyesi için aşılma oranları belirlenerek ilgili parametrelerin aşılma oranları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Beton dayanımı ve yanal donatı detaylandırmasının hemen kullanım dışında aşılma oranlarını büyük ölçüde etkilediği ve 7 kata varan oranlarda değiştirdiği görülmüştür. Bu etkinin performans seviyesi ve kat sayısı ile arttığı ve daha düşük dayanıma sahip 1975 Yönetmeliği modelleri için 1998 Yönetmeliği modellerine göre daha büyük olduğu belirlenmiştir. Hemen kullanım seviyesi için aşılma oranlarının her iki yönetmelik içinde büyük değerlere ulaşabildiği görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER : Betonarme, beton dayanımı, doğrusal olmayan analiz, sismik performans, yanal donatı, yönetmelik

1. GİRİŞ

Beton dayanımı ve donatı detaylandırma özellikleri betonarme yapıların sismik performansını belirleyen önemli özelliklerden biridir. Çalışmanın amacı bu özelliklerin betonarme yapı davranışına ve farklı performans seviyeleri için sismik hasar riskine etkisinin değerlendirilmesidir.

Bu amaçla ülkemizdeki mevcut yapı stoğunu temsil eden herhangi bir düzensizliğe sahip olmayan 2, 4 ve 7 katlı referans binalar 1975 ve 1998 yönetmeliklerine göre konut olarak ayrı ayrı modellenmiştir (AY-75, 1975; AY-98, 1998). Çalışma ayrıca yeni yürürlüğe girmiş olan Deprem Yönetmeliği (DBYBHY-2007, 2007) uygulamalarının zenginleştirilmesine de katkıda bulunacaktır. Bu sebeple çalışmanın tüm safhalarında bina modellerinin hazırlanması ve kapasitelerin belirlenmesinde 2007 Deprem Yönetmeliği dikkate alınmıştır.

Çalışma kapsamında kullanılan bina özellikleri yaklaşık 500 mevcut bina üzerinde yapılan envanter çalışması ile (Inel vd., 2009) oluşturulmuştur. Bu yapıların özellikleri sayısal değerlere dönüştürülmüştür (kolon alanı/bina

alanı, bölme duvar miktarı/bina alanı, eleman boyut ve donatı miktarı, vb.). Bu şekilde yaklaşık 34 adet parametrenin ortalama değerlerine uygun 1-2 katlı yapıları temsilen 2, 3-5 katlı yapılar için 4, 6 ve üzeri katlı yapılar için 7 katlı bina modelleri oluşturulmuştur.

Her bir yapı grubu için iki farklı deprem yönetmeliği (1975 ve 1998), iki farklı beton basınç dayanımı ve iki farklı yanal donatı durumu dikkate alınmıştır. Beton sınıfı olarak 1998 öncesi yapılarda BS16 (orta kalite) ve BS10 (düşük kalite), 1998 ve sonrası yapılarda BS25 (iyi kalite) ve BS16 (orta kalite) öngörülmüştür. Her bir model için sargı bölgelerinde yönetmeliğe uygun donatı düzeni ve 200 mm aralıklı aynı zamanda çirozsuz olmak üzere iki farklı yanal donatı durumu göz önüne alınmıştır. Dolgu duvarlar için ise yapılarda envanter çalışmasına uygun miktarda taşıyıcı özellikte dolgu duvar bulunan ve dolgu duvarların taşıyıcı özelliklerinin dikkate alınmadığı iki farklı durum incelenmiştir. Analizlerde SAP2000 programı kullanılmıştır. (SAP2000, CSI).

Bu modellerin 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG) ve Göçme Öncesi (GO) performans seviyesi deplasman kapasitesi değerleri bulunmuştur. Kapasite eğrileri elde edilen modeller iki doğrulu hale getirilerek "Tek Serbestlik Dereceli" (TSD) modellere indirgenmiştir. TSD modellerin farklı maksimum yer ivmesi değerleri ve zemin özelliklerine sahip 264 gerçek deprem kaydı kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi ile doğrusal olmayan deplasman talepleri hesaplanmıştır. Modellere ait talep ve kapasite değerleri kullanılarak her bir model için uygulanan depremlerin kapasiteleri aşma oranları (ilgili kapasitenin aşıldığı deprem sayısı/toplam deprem sayısı) belirlenmiştir.

Çalışmada elde edilen bulgularla farklı kat sayısı, yönetmelik, malzeme ve detaylandırma durumunun her bir yapı performans seviyesi için farklı deprem büyüklüklerinde hasar oranında meydana getirdiği artış sayısal olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler deprem hasar tahmin yöntemleri ve yapıların risk öncelik değerlendirmelerine katkı sağlayabilir.

2. MODEL ÖZELLİKLERİ VE MODELLEME

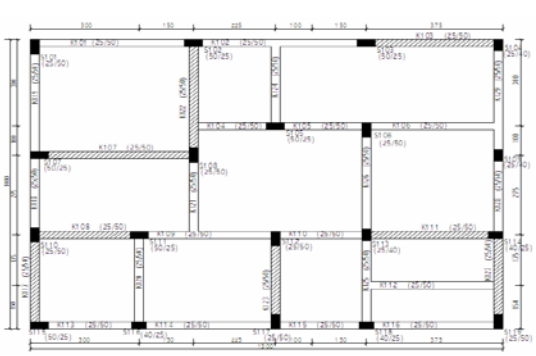
Çalışma kapsamında kullanılan bina modellerinin hazırlanmasında mevcut binalarla ilgili envanter çalışması (İnel vd., 2009) verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada betonarme yapıların dayanım ve şekildeğiştirme davranışları üzerinde etkisi olduğu düşünülen bazı yapısal özelliklerin yapı stoğu içindeki değerleri incelenmiştir. Binalar yapım yılları ve kat sayısına göre alt gruplara ayrılarak toplam 475 bina ve bu binalardan seçilen 40351 kolon ve 3123 kiriş eleman dikkate alınmıştır.

Çalışmada 3 farklı mimariye sahip incelenen parametrelerin farklı değerlerine sahip toplam 48 adet binanın 3-B modellemesi yapılmıştır. Modellere ait kalıp planı görünümleri Şekil 1'de verilmiştir. Binaların iki asal yönü dikkate alındığında çalışma kapsamında 96 adet analiz sonucu değerlendirilmiştir.

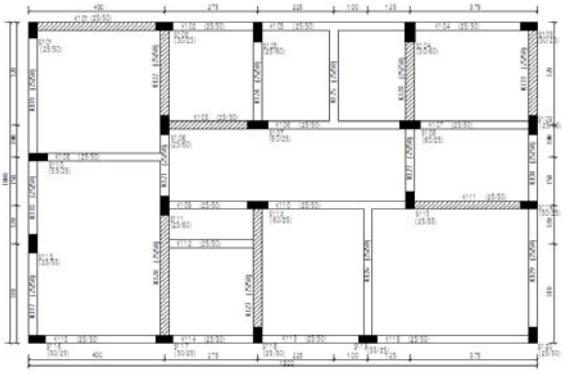
Bina modellerinin sismik davranış ve performansının belirlenmesi amacıyla doğrusal olmayan modelleri 2007 Deprem Yönetmeliği göz önüne alınarak hazırlanmıştır (DBYBHY-2007, 2007). Doğrusal elastik olmayan davranış eleman uçlarına yerleştirilen plastik mafsallar yoluyla belirlenmiştir.

Bir plastik mafsalın tanımlanabilmesi için Şekil 2'de verilen B, C, D, E (ve performans kriterleri için MN, GV, GÇ) noktalarının koordinatları belirlenmelidir. Eğilme mafsallarında bu noktaların tanımlanabilmesi için moment-eğrilik ilişkisinin bilinmesi gereklidir. Bu amaçla her bir elemanın kritik kesitlerinde yanal donatı miktarı dikkate alınarak öncelikle sargılı beton birim deformasyon-dayanım ilişkisi belirlenmiştir. Çelik birim deformasyon-dayanım ilişkisi DBYBHY-2007'de önerilen şekilde dikkate alınmıştır. Malzeme deformasyon-dayanım ilişkileri kullanılarak elde edilen moment-eğrilik ilişkisi ve belirlenen süneklik kriterleri kullanılarak eğilme mafsallarının deformasyon kapasiteleri belirlenmiştir. Mafsalların tanımlanması için her elemanın kritik

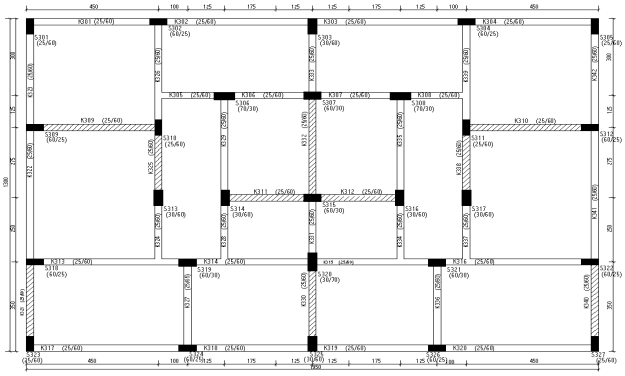
kesitlerinin moment eğrilik ilişkileri Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı (SEMAp, 2008) kullanılarak hesaplanmıştır.



2 katlı bina



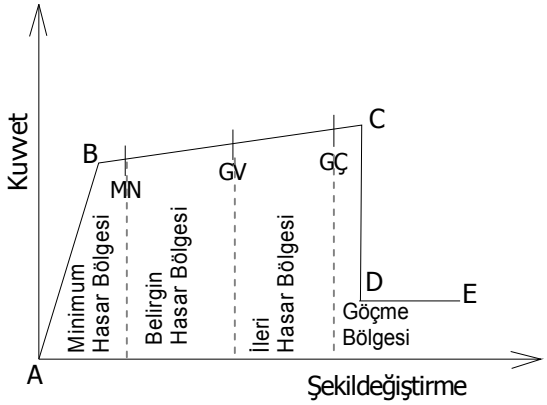
4 katlı bina



7 katlı bina

Şekil 1. Modellenen binalara ait kat kalıp planları (taşıyıcı dolgu duvarlar taralı olarak gösterilmiştir)

Beton modelleri için Mander sargılı beton modeli (Mander vd., 1988) kullanılmıştır. Bu moment-eğirlik ilişkileri, nihai deformasyon kriterleri ve plastik mafsal boyu (Lp= h/2, DBYBHY-2007, 2007) kullanılarak her bir elemanın plastik dönme kapasitesi ve mafsal özellikleri belirlenmiştir. Eğilme mafsalları için hasar sınır değerleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Tipik dayanım deformasyon ilişkisi

Moment mafsallarına ek olarak, kolon ve kirişlerde kesme mafsalları da tanımlanmıştır. Moment mafsallarından farklı olarak, kesme mafsallarında herhangi bir süneklik hesaplanmamış, elemanların kesme kapasitelerine ulaşır ulaşmaz göçme konumuna ulaştığı varsayılmıştır. Kesme kapasiteleri TS500'e (2000) göre hesaplanmıştır.

İncelenen her bir model dolgu duvarların yapı davranışına etkisinin dikkate alınması amacıyla duvarların taşıyıcı eleman olarak dikkate alındığı ve alınmadığı iki farklı biçimde hazırlanmıştır. Duvarların etkisi eşdeğer çapraz basınç çubukları kullanılarak yansıtılmıştır. Basınç çubuklarının özellikleri FEMA-356 ve 2007 Deprem Yönetmeliği (FEMA-356, 2000; DBYBHY-2007, 2007) dikkate alınarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Eğilme mafsalı hasar sınır kriterleri

Nokta	Beton Birim Deformasyonu ε_c	Çelik Birim Deformasyonu ε_s
B	Akma dayanımı ve eğilme rijitliği belirler	
MN	$(\varepsilon_{cu})_{MN}$=0.0035	$(\varepsilon_s)_{MN}$= 0.01
GV	$(\varepsilon_{cg})_{GV}$= 0.0035+0. 010·(ρm/ρs) ≤0.0135	$(\varepsilon_s)_{GV}$= 0.04
GC	$(\varepsilon_{cg})_{GC}$= 0.0040+0.014·(ρm/ρs) ≤0.0180	$(\varepsilon_{cu})_{GC}$= 0.06
C-D	$(\varepsilon_{cg})_C$= 0.03	$(\varepsilon_s)_C$= 0.5·ε_{su}
E	$(\varepsilon_{cg})_E$= 0.04	$(\varepsilon_s)_E$= ε_{su}

Tablo 1'de verilen; ε_c: beton birim deformasyon değeri, ε_{cu}: en dış beton lifi basınç birim deformasyonu, ε_{cg}: en dış çekirdek lifi basınç birim deformasyonu, ρ_s: kesitte mevcut bulunana enine donatı hacimsel oranı, ρ_{sm}: kesitte DBYYHY-2007'ye göre bulunması gerekli enine donatı hacimsel oranı, ε_s: çelik birim deformasyon değeri, ε_{su}: nihai çelik birim deformasyon değerini ifade etmektedir.

3. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YERDEĞİŞTİRME TALEPLERİNİN BELİRLENMESİ

3-B olarak modellenen binalar üzerinde bulunan düşey yük etkileri de göz önüne alınarak doğrusal elastik olmayan statik analize tabi tutulmuş ve kapasite eğrileri elde edilmiştir. 96 adet model için 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre Hemen Kullanım, Can Güvenliği ve Göçme Öncesi performans seviyelerindeki yerdeğiştirme kapasitesi değerleri elde edilmiştir.

3-B modellere ait kapasite eğrileri iki doğrulu hale getirilerek "Tek Serbestlik Dereceli" (TSD) modele indirgenmiştir. TSD modellerin farklı maksimum yer ivmesi değerlerine sahip 264 gerçek deprem kaydı kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz ile doğrusal olmayan yerdeğiştirme talepleri hesaplanmıştır (Hachem, BiSpec). Elde edilen bina yerdeğiştirme kapasiteleri, yerdeğiştirme talepleri ile karşılaştırılmıştır. Doğrusal olmayan yerdeğiştirme taleplerinin hesaplanmasında toplamda 264 adet yer hareketi kaydı kullanılmıştır. Tüm deprem kayıtları PEER (PEER, http://peer.berkeley.edu) web sitesinden alınmıştır. Analizde kullanılan depremler ve ivme kayıtlarına ait maksimum yer ivmesi değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Deprem yerdeğiştirme talepleri ile bina yerdeğiştirme kapasiteleri kıyaslanırken, deprem kayıtları yönetmelikte bulunan 3 deprem seviyesini (0.2g, 0.4g ve 0.6g) yansıtması için 3 gruba ayrılmıştır. 0.2g, 0.4g ve 0.6g değerlerinin etrafında maksimum yer ivme değerine sahip kayıtların ortalama yer ivme değerleri bu değerleri yansıtacak şekilde 3 gruba ayrılmış ve kıyaslamada kullanılmışlardır. Bu gruplar farklı dönüşüm periyotlarına sahip yer hareketleri olarak düşünülebilir. Kullanılan ivme kaydı grupları ile ilgili değerler Tablo 3'te verilmiştir. Literatürde yüksek PGA değerine sahip (0.5g-0.7g) ivme kaydı sayısının az olması sebebiyle bu grupta daha az ivme kaydı kullanılmıştır. Yönetmelikçe öngörülen vime değerlerinden çok uzaklaşılmaması bakımından gruplarda yer alan kayıtların PGA değerlerinin ortalamadan çok uzaklaşmamasına özen gösterilmiştir.

Tablo 2. Analizde kullanılan depremler ve pik yer ivmesi (PGA) değerleri

No	Deprem	Kayıt Sayısı	PGA Aralığı (g)
1	Cape Mendocino 1992/04/25 18:06	4	0.385-0.662
2	Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	56	0.119-0.655
3	Coalinga 1983/05/02 23:42	4	0.227-0.592
4	Coyote Lake 1979/08/06 17:05	3	0.228-0.434
5	Duzce, Turkey 1999/11/12	2	0.348-0.535
6	Erzincan, Turkey 1992/03/13	1	0.496
7	Friuli, Italy 1976/05/06 20:00	1	0.351
8	Gazli, USSR 1976/05/17	1	0.608
9	Imperial Valley 1940/05/19 04:37	2	0.215-0.313
10	Imperial Valley 1979/10/15 23:16	33	0.160-0.704
11	Irpinia, Italy 1980/11/23 19:34	11	0.201-0.602
12	Kobe 1995/01/16 20:46	8	0.212-0.693
13	Kocaeli, Turkey 1999/08/17	17	0.137-0.550
14	Landers 1992/06/28 11:58	4	0.152-0.417
15	Livermore 1980/01/24 19:00	1	0.229
16	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	38	0.159-0.701
17	Mammoth Lakes 1980/05/27 14:51	1	0.408
18	Morgan Hill 1984/04/24 21:15	2	0.423-0.711
19	N. Palm Springs 1986/07/08 09:20	7	0.205-0.694
20	Northridge 1994/01/17 12:31	34	0.185-0.657
21	Parkfield 1966/06/28 04:26	5	0.357-0.652
22	San Fernando 1971/02/09 14:00	1	0.324
23	Spitak, Armenia 1988/12/07	1	0.199
24	Superstitn Hills(B) 1987/11/24	10	0.181-0.682
25	Tabas, Iran 1978/09/16	2	0.328-0.406
26	Victoria, Mexico 1980/06/09 03:28	2	0.587-0.621
27	Westmorland 1981/04/26 12:09	7	0.155-0.651
28	Whittier Narrows 1987/10/01 14:42	5	0.199-0.426
29	Whittier Narrows 1987/10/04 10:59	1	0.374
Toplam		264	

Tablo 3. Analizde kullanılan vime kaydı grupları ve özellikleri

İvme Grubu	Adet	Min. (g)	Max. (g)	Ort. (g)
0.2g	93	0.119	0.274	0.200
0.4g	108	0.300	0.506	0.400
0.6g	63	0.500	0.711	0.601

4. ANALİZ SONUÇLARI

İncelenen parametrelerin etkilerinin değerlendirilmesinde ilgili performans seviyesinin aşılma oranı dikkate alınmıştır. Bu oran ilgili performans seviyesi şartlarının sağlandığı deplasman kapasitesini aşan talep değerine sahip ivme kaydı sayısının toplam ivme kaydı sayısına oranı olarak ifade edilmiştir. Bu değer bir nevi ilgili yükleme altında deplasman kapasitesinin aşılma olasılığı olarak görülebilir.

Performans seviyesi ve ivme grubu eşleşmesinde konutlar için genel olarak göz önüne alınan performans hedeflemesi kullanılmıştır. Buna göre konut yapıları sık tekrar eden yer hareketlerinde düşük hasara sahip olmalıdır (0.2g ortalama PGA değerine sahip depremler için Hemen Kullanım). Tasarım deprem yükünde can güvenliği şartlarını sağlamalı (0.4g ortalama PGA değerine sahip depremler için Can Güvenliği). Nadir oluşan yer hareketleri için ise toptan göçme engellenmelidir (0.6g ortalama PGA değerine sahip depremler için Göçme Öncesi). Bu değerler farklı malzeme, performans seviyeleri ve yönetmelikler için kat adetlerine göre Tablo 4'te verilmektedir. Tablolarda yer alan "K2", "K4" ve "K7" ifadeleri 2, 4 ve 7 olarak kat adetlerini göstermektedir. "BS" den sonra gelen değer MPa cinsinden dikkate alınan beton dayanımını, "s" den sonra gelen "20" ifadesi ise yanal donatı aralığının 20 cm olduğunu belirtmektedir. Bu durumda kesitte çiroz bulunmadığı var sayılmıştır. Yanal donatı arlığına uyulmayan hallerde yönetmelikçe gerekli görülen ara donatıların da uygulanmış olma ihtimali zayıf olarak görülmektedir. "sYon" ifadesi ise yanal donatı durumunun ilgili yönetmeliğe uygun olduğunu göstermektedir. "Oran" başlığı altında ise söz konusu durumun ilgili en olumsuz duruma göre risk oranı verilmiştir.

Tablo 4. Kat adetlerine göre performans seviyeleri aşılma oranları

1975 Yönetmeliği		BS10s20	BS16s20	BS10sYon	BS16sYon
0.2g/HK	K2	0.105	0.046	0.110	0.059
	K4	0.866	0.801	0.874	0.833
	K7	0.769	0.753	0.772	0.755
0.4g/CG	K2	0.009	0.000	0.005	0.000
	K4	0.465	0.218	0.343	0.141
	K7	0.428	0.146	0.118	0.014
0.6g/GO	K2	0.067	0.008	0.036	0.000
	K4	0.746	0.500	0.647	0.393
	K7	0.512	0.258	0.194	0.071
1998 Yönetmeliği		BS16s20	BS25s20	BS16sYon	BS25sYon
0.2g/HK	K2	0.024	0.024	0.027	0.024
	K4	0.374	0.427	0.309	0.239
	K7	0.390	0.446	0.446	0.422
0.4g/CG	K2	0.000	0.000	0.000	0.000
	K4	0.005	0.002	0.000	0.000
	K7	0.046	0.000	0.000	0.000
0.6g/GO	K2	0.000	0.000	0.000	0.000
	K4	0.135	0.048	0.000	0.000
	K7	0.163	0.016	0.000	0.000

4. ÖZET VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada mevcut yapı stoğunu yansıttığı düşünülen binalarda malzeme dayanımı ve yanal donatı detaylandırmasının bina sismik davranışı üzerine etkileri doğrusal elastik olmayan statik ve dinamik analizler kullanılarak incelenmiştir. Mevcut konut yapılarını temsil etmesi için 2-, 4- ve 7-katlı toplam 48 adet betonarme

binanın doğrusal elastik olmayan modelleri hazırlanmıştır. İki asal doğrultuda doğrusal elastik olmayan statik analiz ile kapasite eğrileri elde edilen binaların değişik performans seviyelerindeki çatı katı yerdeğiştirme kapasiteleri bulunmuştur. Kapasite eğrileri iki doğrulu hale getirilen binalar ETSD sisteme çevrilerek doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında analizle 264 ivme kaydı için yerdeğiştirme talepleri hesaplanmıştır. Elde edilen talepler kullanılarak her bir durum için ilgili deplasman kapasitesinin aşılma oranları belirlenerek incelenen parametreler değerlendirilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Hemen Kullanım performans seviyesi aşılma oranı malzeme, yanal donatı miktar ve detaylandırması değişiminden diğer performans seviyelerine göre çok daha düşük oranda etkilenmektedir. Bu durum bu seviyenin doğrusal olmayan davranışın hemen başında olması sebebiyle beklenen bir sonuçtur. Beton dayanımı ve yanal donatı miktarı dayanımdan çok deformasyon kapasitesi üzerinde etkili olduğundan daha çok dayanım ile belirlenen HK üzerinde etkin olmamaktadır.
- Hemen Kullanım performans seviyesi için beton dayanımı ve yanal donatı miktarında artışın aşılma oranını arttırdığı durumlar oluşabilmektedir. Bunun sebebi bu faktörlerin iyileşmesi ile daha küçük eğrilik değerlerinde boyuna donatı birim uzama değerinde artış olması ve yönetmelik formülasyonuna göre artan beton dayanımı ile gerekli yanal donatı miktarının artmasıdır. Kesit sünekliği açısından boyuna donatı birim uzama değerinin kritik olduğu kiriş veya az katlı yapı kolon elemanlarında bu durumun görülme olasılığı artmaktadır. Benzer bulgular literatürde yer alan bazı çalışmalarda da verilmiştir (Özmen, 2011; Özmen ve diğ., 2011).
- Her iki yönetmelik durumu ve tüm performans seviyeleri için kat sayısı arttıkça hasar oranı hızla artmaktadır. Düşük katlı yapıların sismik performansının yüksek katlı yapılardan daha iyi olduğu daha önceki bir çok çalışma ve deprem sonrası inceleme de gözlenmiştir (Adalier ve Aydingun, 2001; Doğangün, 2004; Inel ve diğ., 2008; Sezen ve diğ. 2003; Yakut ve diğ., 2005).
- 1975 Yönetmeliği modelleri için 4 katlı yapılar 7 katlı yapılardan daha büyük riske sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun sebeplerinden biri 4 katlı 1975 Yönetmeliği yapılarının görece olarak daha zayıf taşıyıcı sisteme sahip olmalarıdır. Bu yapılar kısmen az katlı olmaları sebebiyle daha özensiz şekilde inşa edilmiş durumdadır. Ayrıca bu yapıların periyot değerleri ivme kayıtlarının baskın periyoduna daha yakın değerlere sahiptir. Bu yapıların göreli (mutlak değil) ötelenme taleplerinin 7 katlı yapılardan daha fazla olduğu belirtilmektedir (İnel ve diğ., 2010). 1998 Yönetmeliği modelleri için ise kat sayısı artışı ile hasar oranı artışının paralel olduğu görülmektedir.
- 1975 Yönetmeliği modellerinin tüm performans durumları için önemli derecede yüksek hasar oranlarına sahip olduğu görülmektedir. 2 ve 7 katlı binalar için beton dayanımı ve yanal donatı miktarının her ikisi birden olumlu olduğu durumlarda sadece CG ve GO için düşük hasar oranları elde edilmektedir. Malzeme ve/veya yanal donatı özelliklerinin kötüleşmesiyle bu oranlar önemli derecede yükselmektedir. Çalışmada kullanılan modellerin herhangi bir düzensizliğe sahip olmadığı göz önüne alındığında aşılma oranlarının yüksekliği daha çarpıcı hale gelmektedir.
- 1998 Yönetmeliği modelleri için ise aşılma oranları oldukça düşük düzeylerde seyretmektedir. Özellikle CG ve GO durumları için beton dayanımı ve yanal donatı miktarının her ikisi birden düşük olmadığı sürece sıfır veya sıfıra yakın değerler elde edilmektedir. Bu durum 1998 Yönetmeliği modellerinin üstün sismik performansa sahip olduğunun bir göstergesi sayılabilir. Olumsuz beton dayanımı ve yanal donatı değerlerine rağmen düşük aşılma oranları modellerin düzensizlik içermemesi ve olumsuz beton dayanım değerinin BS16 gibi aşırı düşük olmayan bir değer seçilmesine bağlanabilir. Bu modellere ait deplasman talepleri incelendiğinde çoğu durumda kapasite değerlerine çok yaklaşılmış olduğu da belirlenmiştir.
- Ancak her iki yönetmelik içinde 2 katlı yapılar haricinde HK performans seviyesi aşılma oranlarının yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. 1998 Yönetmeliği değerleri 1975 Yönetmeliği'ne göre daha olumlu da olsa %24-45 aralığındaki aşılma oranları yüksek görülebilir. Ekonomik olarak da değerlendirilerek sık oluşan yer hareketleri için konutların HK şartlarını sağlaması ile ilgili hükümlerin açık bir performans hedefi olarak yönetmelikte yer alması düşünülebilir.
- Beton dayanımı ve yanal donatı detaylandırmasının hasar oranı üzerindeki etkisinin genel olarak performans seviyesi ve kat sayısı arttıkça arttığı ve daha düşük dayanıma sahip 1975 Yönetmeliği modelleri için 1998 Yönetmeliği modellerine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Söz edilen tüm parametrelerin yapının doğrusal olmayan davranışının artışı ile paralel olduğu görülmektedir. Bu verilerin yapının doğrusal ötesi deformasyon kapasitesi üzerinde de etkin olduğu bilinmektedir. Beklenen bir sonuç olarak yapıların doğrusal olmayan deplasman talebinin artışı ile malzeme ve detaylandırma özelliklerinin performans üzerindeki etkisi de artmaktadır.

- Beton dayanımı ve yanal donatı detaylandırmasının hasar oranı üzerinde önemli etkisi olduğu görülmektedir. Örneğin 1975 Yönetmeliği modelleri için 0.4g/CG için 4 katlı modellerin hasar oranı ele alınana durumlar çerçevesinde %47'den %14'e, 7 katlı modeller için ise %43'ten %1'e varan oranlarda azalmaktadır. 0.6g/GO için ise 4 katlı modellerde %75'ten %39'a, 7 katlı modeller için ise %51'den %14'e kadar azalmalar görülmektedir.
- 1998 modellerinde HK dışındaki çoğu performans seviyesi için aşılma oranları sıfır veya sıfıra yakın olduğundan değerlendirme yapılması zorlaşmaktadır. Fakat 4 ve 7 katlı modellerde BS16s20 ve BS16sYon oranları arasında değerlerin hızla küçülmesi ve diğer durumlar için sıfıra ulaşması beton dayanımı ve yanal donatı detaylandırmasının hasar oranı üzerinde etkin olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 107M569'nolu TÜBİTAK ve 2008FBE005'nolu Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir

KAYNAKLAR

Adalier K. and Aydingun O., (2001). Structural engineering aspects of the June 27, 1998 Adana–Ceyhan (Turkey) earthquake, Engineering Structures,; 23(4):343-355.

AY-75 (1975), "Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

AY-98 (1998), "Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

DBYYHY-2007 (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Dogangun, A., 2004. Performance of reinforced concrete buildings during the May 1 2003 Bingöl earthquake in Turkey, Engineering Structures, 26(6), 841-856.

FEMA-356, 2000. Prestandard and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings, Report No. FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

Hachem M.M., BiSpec, http://eqsols.com/default.aspx

Inel, M., Ozmen, H. B., and Bilgin, H., 2008. Re-evaluation of building damages during recent earthquakes in Turkey, Engineering Structures, 30, 412-427.

Inel M., Ozmen H. B., Onur O., and Celik S. (2010) Nonlinear Seismic Displacement Demands of Mid-Rise Reinforced Concrete Buildings Subjected to Past Earthquakes in Turkey, 9th International Congress on Advances in Civil Engineering, 27-30 September 2010, (Paper ID: SEE-131), Trabzon, Turkey.

Inel M., Ozmen H.B., Şenel Ş.M. ve Kayhan A.H. (2009). Mevcut Betonarme Binaların Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi, Uluslararası Sakarya Sempozyumu, 1-2 Ekim 2009, Sakarya, Türkiye.

Mander J. B., Priestley M. J. N., Park R., 1998. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 8, pp. 1804-1825.

Özcebe, G., 2004. Deprem Güvenliğinin Saptanması İçin Yöntemler Geliştirilmesi, TÜBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574 Numaralı Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Ankara.

Özmen H. B. (2011). Düşük ve Orta Yükseklikteki Betonarme Yapıların Deprem Performanslarını Etkileyen Faktörlerin İrdelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Özmen H. B., İnel M. ve Şenel Ş. M. (2011). Mevcut Türk Betonarme Yapı Stoğu Dayanım Ve Deformasyon Özellikleri, 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Bildiri No: 120, 30 Mayıs-3 Haziran 2011, İstanbul.

PEER, http://peer.berkeley.edu

SAP2000, CSI. Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual; Berkeley (CA, USA); Computers and Structures Inc.

SEMAp 2008, Sargılı etkisi modelleme analiz programı; Tubitak proje no: 105M024

Sezen, H., Whittaker, A. S., Elwood, K. J., and Mosalam, K. M., 2003. Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practice in Turkey. Engineering Structures, 25(1), 103-114.

TS-500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Yakut A., Gulkan P., Bakır B. S., Yılmaz M. T., 2005. Re-examination of damage distribution in Adapazari: structural considerations. Engineering Structures, 27(7): 990-1001.